



ОТЗЫВ  
ведущей организации на диссертацию  
ВЕРЕТЕНЕНКО СВЕТЛАНЫ ВИКТОРОВНЫ

**ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
ЭФФЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВАРИАЦИЙ  
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ  
В ЦИРКУЛЯЦИИ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ,**

представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
Специальности: 01.03.03 – физика Солнца  
25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Проблема влияния солнечной активности и связанных с ней возмущений межпланетной среды на состояние нижней атмосферы, погоду и климат является одной из наиболее важных в современной солнечно-земной физике. Актуальность такого исследования трудно переоценить. Вероятно нет сегодня проблемы, которая затрагивала бы столь непосредственно судьбы всего человечества в большей степени, чем проблема глобального потепления. В самом деле, если расчеты климатологов верны, можно ожидать к 2050 году повышения температуры на 5-7 градусов что неизбежно изменит температурный режим всей планеты. Этот прогноз уже вызвал целый ряд защитительных мер, подписание известного Киотского протокола, согласно которому целый ряд стран должны решительным образом изменить некоторые аспекты своей экономики. И нельзя сказать, что прогноз не оправдывается. Сильное потепление климата наблюдается во многих регионах планеты.

С другой стороны потепление идет явно не теми темпами, которые предсказывают наиболее радикальные модели климата. Есть аргументы, которые связывают это замедление с эффектами солнечной активности. Дело в том, что общий уровень солнечной активности в последние 30 лет обнаруживает последовательное уменьшение. Можно ожидать, что это уменьшение продлится еще 20-30 лет. В этой связи особенно актуальным становится уточнение характеристик гелио-метеорологических связей и, в особенности, основных механизмов этой связи.

Естественно, что недооценка вклада естественных факторов в глобальные климатические изменения может способствовать принятию ошибочных решений в политической и экономической сферах, что, в свою очередь, может иметь далеко идущие последствия.

Серьезную проблему представляет пространственно-временная изменчивость солнечно-атмосферных связей. Реакция атмосферы (вариации давления, температуры, состояния облачности и т.д.) на те или иные проявления

солнечной активности может существенно различаться в зависимости от исследуемого региона. Корреляционные связи, наблюдаемые между атмосферными характеристиками и солнечно-геофизическими факторами, оказываются неустойчивыми во времени: они могут усиливаться, ослабевать, менять знак или совсем исчезать в зависимости от временного интервала. Очевидно, что временная неустойчивость солнечно-климатических связей часто служит основанием для сомнений в их реальности.

Целью данной работы является исследование характера и причин пространственно-временной структуры эффектов космических лучей в вариациях давления атмосферы и эволюции циклонической деятельности во внетропических широтах на разных временных шкалах. Особое внимание уделяется установлению причин временной изменчивости корреляционных связей, наблюдаемых между атмосферными характеристиками (давлением, состоянием нижней облачности) и гелиогеофизическими индексами на мультидекадной шкале.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Полный объем диссертации составляет **327** страниц, включая **127** рисунков и **4** таблицы. Список литературы насчитывает **414** наименований.

Диссертация настолько обширна и затрагивает столь широкий круг проблем, что невозможно в отзыве отразить их все. Мы остановимся только на тех из них, которые имеют прямое отношение к проблемам гелио-атмосферных связей.

В практике гелиогеофизических явлений принято делить все события на Солнце на кратковременные нестационарные с характерным временем от нескольких минут до нескольких дней и долговременные – от нескольких месяцев до десятков лет. К первым из них относят вспышки и корональные выбросы массы с последующими эффектами на Земле типа магнитных бурь и Форбуш-понижений. Ко вторым – солнечные пятна, корональные дыры и глобальные магнитные поля. С точки зрения физики Солнца это разделение, конечно, условно. Физическими агентами, определяющими воздействие солнечных процессов на состояние атмосферы Земли, являются потоки электромагнитного и корпускулярного излучения. Именно они могут как-то изменять состояние земной атмосферы. Как правило, они определяются нестационарными процессами на Солнце.

Поэтому первая группа задач была посвящена всестороннему исследованию эффектов кратковременных вариаций космических лучей (солнечных протонных событий, Форбуш-понижений галактических космических лучей) в вариациях давления атмосферы. Была дана интерпретация наблюдаемых эффектов с точки зрения эволюции внетропических барических систем. Определены области на Земле, где эффекты космических лучей наиболее значимы. Было показано, что солнечные протонные события (СПС) с энергиями частиц, достаточными для проникновения в стратосферу ( $E > 90$  МэВ), сопровождаются понижением давления над Северной Атлантикой вследствие интенсификации вторичного углубления (регенерации) циклонов в районе юго-восточного побережья Гренландии (области формирования арктических фронтов). При этом Северная Атлантика является особым регионом для формирования эффектов вариаций КЛ на коротких временных шкалах (порядка нескольких суток).

Вторая группа задач касалась более долговременной связи на масштабах цикла или даже мультидекадных связей. Оказалось, что пространственная структура вариаций давления, наблюдаемая в связи с изменениями потока ГКЛ в 11-летнем цикле солнечной активности, определяется климатическим

положением главных атмосферных фронтов. Наиболее значимые коэффициенты корреляции атмосферного давления и интенсивности ГКЛ имеют место на полярных фронтах умеренных широт и в высокоширотной области, ограниченной арктическими фронтами. В северном полушарии эффекты ГКЛ в высокоширотной области и на полярных фронтах имеют противоположный знак.

Особо следует отметить, что корреляция между приземным давлением во внетропических широтах и числом солнечных пятен имеет локальный характер как по величине, так и по знаку. Изменения знака обнаружены в 1890-х гг., начале 1920-х гг., в 1950-х гг., а также в начале 1980-х и 2000-х гг. Эти изменения характера корреляционных связей между динамическими процессами в нижней атмосфере и характеристиками СА/ГКЛ автор связывает с изменениями крупномасштабной циркуляции атмосферы, обусловленными эволюцией стратосферного циркумполярного вихря. Показано, что усиление циклонических процессов на полярных фронтах умеренных широт имеет место только при сильном вихре. Показана роль эволюции циркумполярного вихря как вероятной причины временной изменчивости солнечно-атмосферных связей.

Корреляционные связи, наблюдаемые между облачностью и потоками ГКЛ в умеренных широтах в масштабе 11-летнего солнечного цикла, обусловлены влиянием ГКЛ на развитие циклонической деятельности. Положительная корреляция нижней облачности и потоков ГКЛ в период 1983-2000 гг. объясняется усилением циклогенеза при росте интенсивности ГКЛ, имеющим место при сильном циркумполярном вихре. Нарушение корреляции между облачностью и потоками ГКЛ в начале 2000-х гг. произошло в результате резкого ослабления циркумполярных вихрей обоих полушарий, что привело к изменению эффектов ГКЛ в вариациях внетропического циклогенеза. Выявлены долговременные изменения эволюции циркумполярного вихря как возможной причины изменчивости солнечно-атмосферных связей на мультидекадной шкале.

В работе полно и обстоятельно рассмотрено влияние различных видов космических лучей на верхнюю атмосферу Земли. Автор демонстрирует хорошее знакомство с современным состоянием дел в изучении вариаций КЛ. Работа Веретененко – это существенный шаг от упрощенных представлений о влиянии КЛ на погоду и климат Земли к пониманию всей сложности и многообразия такого влияния.

Диссертация в целом оформлена очень хорошо. Рисунки за редким исключением выполнены качественно, стиль изложения прекрасный. Обширные обзоры во введении и в каждом разделе делают диссертацию практически готовой основой для полноценной монографии.

У нас, практически, нет сколько-нибудь серьезных замечаний. В основном, они касаются не всегда четких высказываний диссертанта. Так, на странице 22 показан временной ход солнечной постоянной (TSI) из работы [Fröhlich, 2009]. Диссертантка пишет, что, по мнению автора, эти данные указывают на возможность долговременного тренда со снижением полного потока солнечного излучения. Из текста неясно, таково мнение Фрелиха или диссертантка разделяет это спорное утверждение. Иногда при упоминании солнечных и галактических космических лучей слово «космические» пропускается, что нежелательно.

На странице 24 диссертантка цитирует работы [Lean et al., 1995, Lockwood and Stamper, 1999], которые показали, что в отдельные периоды солнечные эффекты составляли до 50% от климатических вариаций. Для обзора упомянуть эти работы, конечно, следовало, но надо было бы отметить, что климатологи с этими выводами решительно не согласны. С другой стороны именно в этом месте следовало привести ссылку на работу Ю.А. Наговицына, который изучил зависимость гелиометеорологических связей от характерного временного

масштаба. На странице 37 диссертантка связывает 27-дневную вариацию, секторную структуру гелиосферы и наклон гелиосферного токового слоя исключительно с активными областями. На самом деле в формировании этих эффектов не меньшее, а в период минимума даже большее значение имеют крупномасштабные магнитные поля на Солнце. При описании механизмов глобальной электрической цепи следовало упомянуть работы, проводившиеся в Иркутске (Г.А.Жеребцов, В.А. Коваленко). Автор указывает, что при анализе наземных наблюдений КЛ часто используют вертикальную жёсткость геомагнитного обрезания (стр. 38), но упрощённая формула (1.5) используются только для объяснений, а для расчётов применяются модели реальной магнитосферы.

Утверждение автора диссертации о существовании четко выраженной ~60-летней (и даже 63-летней) периодичности эффектов СА/ГКЛ в вариациях давления тропосферы высоких и умеренных широт кажется сформулированным несколько более сильно, чем следовало. Вряд ли можно говорить о четко выраженной 60-летней периодичности имея в руках наблюдательный материал только за 120 лет.

Очень важный вывод состоит в том, что регионы положительной и отрицательной корреляции образуют кластеры, расположенные, на первый взгляд, не связанным друг с другом образом. Как говорилось выше, положительная корреляция нижней облачности и потоков ГКЛ в период 1983-2000 гг. объясняется усилением циклогенеза при росте интенсивности ГКЛ, имеющим место при сильном циркумполярном вихре. Нарушение корреляции между облачностью и потоками ГКЛ в начале 2000-х гг. произошло в результате резкого ослабления циркумполярных вихрей обоих полушарий, что привело к изменению эффектов ГКЛ в вариациях внетропического циклогенеза. Причина этого изменения остается неясной. Попытки связать эти даты изменения знака корреляции с особыми периодами на Солнце (стр.218) нельзя считать полностью убедительными. В связи с этим особый интерес вызывает рисунок 4.11 (стр.206), на котором построена широтно-временная диаграмма коэффициентов корреляции. Видно, что области положительной и отрицательной корреляции образуют полосы шириной около 20 лет, дрейфующие от экватора к полюсу. Время дрейфа составляет 15-20 лет. Любопытно, что точно так же выглядит и широтно-временная крупномасштабных магнитных полей на Солнце, правда с несколько меньшими временными характеристиками. К сожалению, в диссертации недостаточно подробно обсуждается возможная интерпретация этого рисунка.

Научные положения, выносимые на защиту, основаны на обработке большого объема экспериментального материала с использованием современных архивов метеорологических и геофизических данных

Достоверность полученных результатов обеспечивается высоким уровнем статистической значимости, которая оценивалась на основе современных математических методов, позволяющих устранить влияние серийной корреляции в исследуемых рядах, в том числе статистического моделирования по методу Монте-Карло. О достоверности и научной значимости результатов, представленных в диссертации, свидетельствуют публикации в рецензируемых российских и зарубежных журналах по солнечно-атмосферной тематике, доклады на крупных российских и международных конференциях.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы опубликованы в одной монографии и 52 статьях в журналах, входящих в список ВАК.

Выводы диссертации могут использоваться в российских институтах ФИАН, ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН, ГАО РАН, ИФА РАН, ИГКЭ Росгидромета и РАН, ГАИШ

МГУ и др. при анализе физических процессов на Солнце и их связи с атмосферными процессами для задач эволюции и прогнозирования длительных вариаций климата на Земле.

Основные результаты диссертации доложены и одобрены 23 марта 2017 г на объединенном семинаре ИЗМИРАН по физике Солнца, и вызвали большой интерес.

Таким образом, в настоящей диссертации решена крупная научная проблема нахождения свойств пространственно-временной структуры эффектов солнечной активности и вариаций космических лучей в циркуляции нижней атмосферы, имеющая важное научное и прикладное значение, работа полностью соответствует всем критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, и предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.03.03 – физика Солнца и 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы, а ее автор Веретененко Светлана Викторовна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук.

Главный научный сотрудник  
отдела Физики Солнца и солнечно-земных связей  
д.ф.-м.н профессор



В.Н.Обридко

Заведующий лабораторией  
вариации космических лучей  
к.ф.-м.н.



А.В. Белов